

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y  
ALCANTARILLADOS  
LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS**



**INFORME ANUAL 2016  
VIGILANCIA Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA  
CONSUMO HUMANO EN LOS ACUEDUCTOS OPERADOS POR  
LAS MUNICIPALIDADES Y LA ESPH**

Elaborado:

MSc. Jimena Orozco Gutiérrez

Revisado por:

Lic. Azucena Urbina Campos

Dr. Pablo Rivera Navarro

Aprobado:

Dr. Dárner Mora Alvarado

**Septiembre 2017**



**Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
Centro de Documentación e Información  
UEN Investigación y Desarrollo**



**AUTORIZACIÓN INSTITUCIONAL PARA PUBLICAR TESIS, ESTUDIOS,  
ARTÍCULOS Y/O INFORMES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AyA EN  
EL REPOSITORIO DIGITAL DEL CEDI**

**Yo, Annette Henchoz Castro**

---

**N° Cédula: 1-0725-0409**

---

**Dependencia: Gerencia General**

---

Autorizo como Sub Gerente General y representante legal del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) cédula jurídica 4-000-042138 al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio Digital, Catálogo en línea (OPAC) y la intranet institucional de la documentación incluida en la lista adjunta.

Se trata de estudios y documentos cuyos derechos intelectuales y de uso son exclusivos de nuestra institución.

**E-mail:** [centrodoc@aya.go.cr](mailto:centrodoc@aya.go.cr) **N° Teléfono:** 2242-5487

Annette  
Henchoz Castro

Firmado digitalmente por  
Annette Henchoz Castro  
Fecha: 2019.11.25 16:07:20  
-06'00'

**Firma:** \_\_\_\_\_

## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Objetivo General .....	9
1.2. Objetivos Específicos .....	9
2. METODOLOGÍA.....	10
2.1. Muestreo .....	10
2.2. Técnicas de Laboratorio.....	13
2.3. Interpretación de los resultados .....	13
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	19
3.1. San José.....	19
3.2. Alajuela .....	20
3.3. Cartago .....	21
3.4. Heredia .....	22
3.5. Guanacaste.....	23
3.6. Puntarenas.....	23
3.7. Limón.....	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERAL.....	24
5. CONCLUSIONES.....	34
6. RECOMENDACIONES.....	37
7. REFERENCIAS .....	39

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.1.</b> Número de acueductos operados por municipalidades y ESPH junto con su población abastecida por provincia durante el 2016.....	7
<b>Cuadro 1.2.</b> Fuentes de abastecimiento de los acueductos operados por municipalidades y la ESPH durante el 2016. ....	8
<b>Cuadro 2.1.1.</b> Frecuencia mínima de muestreo y número de muestras microbiológicas de red a recolectar según población abastecida para el programa de control de calidad. ....	11
<b>Cuadro 2.1.2.</b> Frecuencia mínima de muestreo y número de muestras a recolectar para análisis físico-químicos en las fuentes de abastecimiento y red de distribución para los niveles N2 y N3 para el programa de control de calidad.....	12
<b>Cuadro 2.3.1.</b> Parámetros de calidad del agua control operativo (CO).....	14
<b>Cuadro 2.3.2.</b> Parámetros de calidad del agua nivel primero (N1). ....	14
<b>Cuadro 2.3.3.</b> Parámetros de calidad del Agua nivel segundo (N2). ....	15
<b>Cuadro 2.3.4.</b> Parámetros de calidad del agua nivel tercero (N3). ....	15
<b>Cuadro 2.3.5.</b> Clasificación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos según su efecto en la calidad del agua.....	17
<b>Cuadro 3.1.1.</b> Acueductos operados por municipalidades con agua de calidad No Potable en la provincia de San José durante el 2016.....	19
<b>Cuadro 3.2.1.</b> Acueductos operados por municipalidades con agua de calidad No Potable en la provincia de Alajuela durante el 2016.....	20
<b>Cuadro 3.3.1.</b> Acueductos operados por municipalidades con agua de calidad No Potable en la provincia de Cartago durante el 2016.....	21
<b>Cuadro 3.4.1.</b> Acueductos operados por municipalidades con agua de calidad No Potable en la provincia de Heredia durante el 2016. ....	22
<b>Cuadro 4.1.</b> Número de acueductos operados por municipalidades y la ESPH según calidad de agua por provincia durante el 2016.....	25
<b>Cuadro 4.2.</b> Número de acueductos clorados y no clorados operados por municipalidades y la ESPH según calidad de agua por provincia durante el 2016.....	25
<b>Cuadro 4.3.</b> Población abastecida por acueductos operados por municipalidades y la ESPH según calidad de agua por provincia durante el 2016.....	26
<b>Cuadro 4.4.</b> Población abastecida por <u>acueductos clorados</u> operados por municipalidades y la ESPH según calidad de agua por provincia durante el 2016.....	26
<b>Cuadro 4.5.</b> Población abastecida por <u>acueductos no clorados</u> operados por municipalidades y la ESPH según calidad de agua por provincia durante el 2016.....	27

**Cuadro 4.6.** Acueductos no potables debido a la presencia de coliformes fecales durante el presente periodo (2016) y el anterior (2015). ..... 32

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 4.1.</b> Porcentaje de la población de cada provincia que es abastecida por acueductos operados por municipalidades y la ESPH en el 2016.....	24
<b>Figura 4.2.</b> Población abastecida por acueductos operados por municipalidades y la ESPH según calidad del agua durante el 2016.....	29
<b>Figura 4.3.</b> Población abastecida por acueductos clorados operados por municipalidades evaluados como no potables según parámetros incumplidos durante el 2016.....	30

## 1. INTRODUCCIÓN

Este informe presenta la evaluación de la calidad del agua para consumo humano suministrada en el periodo 2016, en los acueductos incluidos en el programa Control y Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano en los acueductos operados por las municipalidades y la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH). Dicho programa se ejecuta desde 1999, a través del Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) (Mora Alvarado, y otros, 2013).

El LNA ejerce una función fiscalizadora sobre el control operativo de los acueductos en el país. El laboratorio cuenta con más 88 ensayos acreditados por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) de conformidad con los requisitos establecidos en la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005, desde agosto del 2008 y seis procedimientos de inspecciones sanitarias acreditados de conformidad con los requisitos establecidos en la norma INTE-ISO/IEC 17020:2012, desde enero 2016.

Se define como acueducto al sistema formado por las fuentes de abastecimiento, tanque de almacenamiento y demás obras accesorias, y la red de distribución, cuyo objetivo es captar, conducir, tratar y distribuir el agua a la población. El agua potable se define como aquella que cumple con las disposiciones de Valores Máximos Admisibles (VMA) estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos, microbiológicos y radiológicos, establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924– S), que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida. A cada parámetro de calidad se le establece un VMA; éste se define como el valor de la concentración de una sustancia química o densidad bacteriana, a partir de la cual existe rechazo del agua por parte de los consumidores o surge un riesgo inaceptable para la salud. El control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano se realiza para cada sistema de suministro de agua o acueducto. El Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924– S) los define como: a) control de calidad del agua de consumo como la evaluación continua y sistemática del agua en todas las partes del acueducto, según el programa respectivo que deben ejecutar los organismos operadores, a fin de cumplir las normas de calidad; y b) vigilancia de la calidad del agua de consumo como la evaluación permanente desde el punto de vista de salud pública, sobre los entes operadores, a fin de garantizar la seguridad, inocuidad y aceptabilidad del suministro de agua a lo largo de todas las partes del acueducto.

Las municipalidades y la ESPH, como entes operadores, son los responsables jurídicos de la calidad e inocuidad del agua que producen y suministran a sus usuarios; así como de la correcta supervisión, inspección, mantenimiento, funcionamiento seguro del sistema de abastecimiento; el mantenimiento preventivo, el análisis sistemático de la calidad del agua y las medidas correctivas pertinentes. Cada municipalidad debe contar con su propio programa de control de calidad de agua. El LNA, como ente fiscalizador, se encarga de llevar a cabo el programa de vigilancia de la calidad de agua de los acueductos operados por municipalidades y la ESPH.

El AyA, a través del LNA, ofrece a las municipalidades y la ESPH una herramienta para mejorar la gestión del recurso hídrico, como lo es el programa Sello de Calidad Sanitaria; o bien, firmar convenios donde se contrata al LNA para que realice el control de calidad del agua de consumo, y así cumplir con todos los niveles exigidos en el reglamento vigente. Los acueductos incluidos en el programa Sello de Calidad Sanitaria y presentan convenio con el LNA, deben cumplir con el mínimo de las evaluaciones de calidad de agua necesarias, establecidas el Decreto Ejecutivo N° 38924- S, que varían de acuerdo con la población abastecida. Por otro lado, los acueductos que no forman del programa Sello de Calidad Sanitario, ni firmaron convenio con el LNA, se encuentran dentro del programa de vigilancia de la calidad; este programa comprende al menos un muestreo al año y una inspección sanitaria cada tres años.

Para finales del 2016, el Programa de Control y Vigilancia de Calidad del Agua del LNA reportó un total de 253 acueductos operados por 29 municipalidades y por la ESPH; abasteciendo a una población de 935.433 habitantes. De estos acueductos, 231 fueron no clorados y 22 fueron clorados. La ESPH operó 14 acueductos clorados, suministrando agua a 243.434 habitantes. Las municipalidades que firmaron convenios con el LNA fueron: Alajuela, Alvarado, Grecia, Jiménez, Juntas de Abangares, La Unión, Montes de Oro, Naranjo, Oreamuno, Santo Domingo, Tarrazú y Upala. Estas 12 municipalidades operaron un total de 93 acueductos que abastecieron una población de 325.377 habitantes, que corresponde al 34,4% de la población total abastecida por las municipalidades y la E.S.P.H. Ninguna de las municipalidades de la provincia de Limón administra ni opera acueductos. La población abastecida por provincia, así como el respectivo número de acueductos clorados y no clorados, se detalla en el Cuadro 1.1.



**Cuadro 1.1.** Número de acueductos operados por municipalidades y ESPH junto con su población abastecida por provincia durante el 2016.

Provincia	Población abastecida				Número de sistemas				
	Clorados	%	No Cl	%	Total	%	Clorados	No Cl	Total
San José	33375	100	50	100	33425	4	29	1	30
Alajuela	217270	99	3129	99	220399	24	68	4	72
Cartago	271337	95	13928	95	285265	30	60	17	77
Heredia	126492	100	0	100	126492	14	54	0	54
Guanacaste	12824	100	0	100	12824	1	2	0	2
Puntarenas	13594	100	0	100	13594	1	4	0	4
Limón	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Municipalidades	674892	98	17107	98	691999	74	217	22	239
ESPH	243434	100	0	100	243434	26	14	0	14
<b>Total</b>	<b>918326</b>	<b>98</b>	<b>17107</b>	<b>98</b>	<b>935433</b>	<b>100</b>	<b>231</b>	<b>22</b>	<b>253</b>

\*Incluye acueductos operados por la ESPH.

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Es responsabilidad del ente operador controlar la calidad del agua para consumo humano mediante una combinación de medidas, como son: la protección de las fuentes de agua, el control de las operaciones de tratamiento y de gestión de la distribución; vigilar las estructuras de almacenamiento y distribución cumpliendo los requisitos sanitarios de los abastecimientos de agua mediante un programa de control de calidad, en los diferentes componentes de cada sistema, el cual permite evaluar la calidad del agua contra los requisitos establecidos en el reglamento vigente.

El término fuentes de abastecimiento o aprovechamiento, hace referencia a las aguas de dominio público (Ley N°276, 1942). En Costa Rica, las fuentes de abastecimiento se dividen en tres tipos:

- Subsuperficial o naciente: es aquel lugar donde el nivel estático de un acuífero aflora a la superficie, pues es cortado por la topografía o porque éste alcanza un estrato impermeable, que impide que el agua continúe infiltrándose en profundidad. En este sitio, el agua que aflora es aprovechada a través de la construcción de captaciones que permiten su incorporación a un acueducto. El caudal extraído será función del tipo de acuífero, la transmisividad, y la fuerza de la bomba, entre otros factores (S. Romero, UEN Gestión Ambiental, comunicación personal, abril, 7, 2016).

- Subterránea o pozo: es el aprovechamiento que se realiza del agua que se encuentra almacenada bajo la superficie terrestre, en diferentes tipos de acuíferos (rocas fracturadas que tienen la capacidad de almacenar y transmitir agua en sus espacios intersticiales), a la cual se accede mediante perforaciones verticales u horizontales, extrayendo el agua por medio de bombas sumergibles (S. Romero, UEN Gestión Ambiental, comunicación personal, abril, 7, 2016).
- Superficial: es el uso que se hace de las aguas de escorrentía superficial (que escurren libremente sobre la superficie terrestre), sean ríos, quebradas o canales artificiales; también puede derivarse agua superficial de embalses y lagos (S. Romero, UEN Gestión Ambiental, comunicación personal, abril, 7, 2016).

Para el 2016, el Programa de Control y Vigilancia de Calidad del Agua del LNA reportó 404 fuentes de abastecimiento operadas por municipalidades y ESPH a lo largo del territorio nacional; 66 subterráneas (16 %), 307 subsuperficiales (76 %), y 31 superficiales (8 %). En el Cuadro 1.2 se detalla la cantidad de fuentes de abastecimiento por provincia.

**Cuadro 1.2.** Fuentes de abastecimiento de los acueductos operados por municipalidades y la ESPH durante el 2016.

Provincia	Fuentes de Abastecimiento				
	Total	Pozos	Nacientes	Superficiales	Plantas de tratamiento
San José	60	0	43	17	1
Alajuela	98	10	87	1	0
Cartago	118	4	110	4	3
Heredia:	115	48	59	8	2
Municipalidades	84	27	56	1	0
ESPH	31	21	3	7	2
Guanacaste	5	4	0	1	1
Puntarenas	8	0	8	0	0
Limón	0	0	0	0	0
<b>Totales</b>	<b>404</b>	<b>66</b>	<b>307</b>	<b>31</b>	<b>7</b>
<b>Municipalidades</b>	<b>373</b>	<b>45</b>	<b>304</b>	<b>24</b>	<b>5</b>

\* Empresa de Servicios Públicos de Heredia

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

El presente Informe Anual del 2016 busca vigilar la calidad del servicio de abastecimiento, para determinar el cumplimiento del mandato de la ley vigente, con el fin

de prevenir los riesgos de enfermedades transmitidas por el agua. Los resultados de los análisis puntuales de todos los parámetros de las muestras recolectadas, se incluyen dentro de los Apéndices del presente informe anual. La consulta de éstos resulta imprescindible para ubicar las fechas y los puntos de muestreo de las evaluaciones en los que se detectaron violaciones al Reglamento de Calidad para el Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924– S). Si bien es cierto, las evaluaciones puntuales por sí solas, no definen la calidad del agua suministrada, éstas son fundamentales para detectar los problemas sanitarios que producen su deterioro. Para efectos de generar evaluaciones de riesgo, el presente informe deberá analizarse de forma paralela con la información procedente de las inspecciones sanitarias.

### **1.1. Objetivo General**

Evaluar la calidad del agua de consumo en los acueductos operados por las municipalidades y la ESPH, de acuerdo con los parámetros establecidos en el Reglamento de Calidad para el Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924– S); con el propósito de generar un instrumento de referencia para la toma de acciones correctivas y estructuración de planes de inversión, y de esta forma, promover una mejora continua del servicio de abastecimiento.

### **1.2. Objetivos Específicos**

- Vigilar el cumplimiento de la reglamentación vigente y el desempeño de la labor de operación y distribución de agua de consumo en acueductos operados por municipalidades y la ESPH.
- Calcular la cobertura de agua de calidad potable en los acueductos operados por municipalidades y la ESPH durante el 2016.
- Identificar las deficiencias sanitarias que pueden alterar la calidad del agua en los acueductos.
- Retroalimentar los programas de planificación y ejecución de recolección de muestras de agua y de análisis microbiológicos y físico-químicos.
- Localizar los acueductos susceptibles a la contaminación, que representan un riesgo para la salud de los usuarios.

## **2. METODOLOGÍA**

La evaluación de la calidad del agua de los acueductos se realizó con base en la información recolectada por el LNA, mediante los programas de control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. Las especificaciones del muestreo (mínimo número de muestras a recolectar y su frecuencia) y los criterios de calidad se basaron en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable Decreto Ejecutivo N° 38924 –S vigente a la fecha.

### **2.1. Muestreo**

Los alcances para el Muestro y Manipulación de las Muestras, se establecen en los apartados AYA-MC-5070 y AYA-MC-5080, del Manual de Calidad del LNA, con referencia a los procedimientos y formularios utilizados. Las muestras son recolectadas siguiendo los procedimientos de Muestreo Simple AYA-PT-019; y de Custodia, Recepción, Inspección, Codificación y Desecho de Muestras AYA-PT-021 con el propósito de garantizar que sean representativas de las condiciones geológicas y sanitarias del agua suministrada por los acueductos.

El Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015) establece el número total de muestras a recolectar y la frecuencia de muestreo para los análisis microbiológicos y los físico-químicos. En el muestreo microbiológico se incluyen todos los componentes del sistema de abastecimiento, con el propósito de garantizar la inocuidad microbiana del abastecimiento de agua para consumo humano; se recolectan muestras en las fuentes de abastecimiento (nacientes, pozos, plantas potabilizadoras, ríos, quebradas), tanques de almacenamiento y red de distribución. Sin embargo, la determinación de la calidad del agua de los acueductos, a partir de análisis microbiológicos, se realiza tomando en cuenta solo los muestreos efectuados en la red de distribución.

La frecuencia de muestreo se realiza de forma semestral, como mínimo, para los acueductos que se encuentran dentro del programa de vigilancia de la calidad del agua en los acueductos operados por municipalidades y la ESPH. En el caso de las 12 municipalidades con convenio, incluidos en el Programa Control de Calidad del agua, la frecuencia de muestreo está definida por la población abastecida en cada acueducto. Para efectos del control de calidad, el reglamento indica un mínimo de muestras que se

deben recolectar al año y una frecuencia mínima de muestreo; por lo tanto, el número de muestras recolectadas por año debe ser igual o superior al valor establecido.

En el Cuadro 2.1.1 se detallan las frecuencias de muestreo y el número mínimo de muestras a recolectar de la red de distribución para los análisis microbiológicos, según rangos de población abastecida. Los acueductos creados antes del 2015, de las 11 municipalidades con convenio, que presentaron poblaciones inferiores a 5.000 habitantes, no poseen una frecuencia de muestreo semestral, sino trimestral como se establecía en el reglamento anterior (Decreto Ejecutivo N° 32327-S, 2005).

**Cuadro 2.1.1.** Frecuencia mínima de muestreo y número de muestras microbiológicas de red a recolectar según población abastecida para el programa de control de calidad.

Población abastecida (habitantes)	Red de distribución		Total de muestras mínimas por año de la red de distribución
	Frecuencia	N° muestras	
<5.000	Semestral	3	6
5.000 a 99.999	Trimestral	3	12
100.000	Mensual*	15	180
100.001 a 200.000	Mensual	15	192
200.001 a 300.000	Mensual	15	204
300.001 a 400.000	Mensual	15	216
400.001 a 499.999	Mensual	15	228
500.000	Diaria**	15	3780
500.001 a 600.000	Diaria	15	3792
600.001 a 700.000	Diaria	15	3804
700.001 a 800.000	Diaria	15	3816
800.001 a 900.000	Diaria	15	3828
900.001 a 1.100.000	Diaria	15	3840
1.000.001 a 1.100.000	Diaria	15	3852
1.100.001 a 1.200.000	Diaria	15	3864
1.200.001 a 1.300.000	Diaria	15	3876
1.300.001 a 1.400.000	Diaria	15	3888
1.400.001 a 1.500.000	Diaria	15	3900

\*En frecuencias mensuales mayores a 100.000 habitantes, se adicionan 12 muestras más al año por cada 100.000 habitantes.

\*\*Se cuentan 252 días laborales al año. En frecuencias diarias mayores a 500.000 habitantes se adicionan 12 muestras más al año por cada 100.000 habitantes.

Fuente: Decreto Ejecutivo N° 38924-S. Reglamento para la Calidad del Agua Potable 2015.

En el muestreo físico-químico se incluyen las fuentes de abastecimiento y la red de distribución. Tanto para el control, como la vigilancia de la calidad del agua, la frecuencia

de muestreo varía en función de la población abastecida en cada acueducto. En el Cuadro 2.1.2 se detallan las frecuencias de muestreo y el mínimo de muestras a recolectar para los análisis físico-químicos del nivel N2 y N3, de acuerdo a los rangos de población abastecida.

La determinación de la calidad del agua de los acueductos, a partir de análisis físico-químicos, se realiza tomando en cuenta los muestreos efectuados en la red de distribución. Sin embargo, la calidad se determinó mediante los muestreos efectuados en las fuentes de abastecimiento, cuando el acueducto carecía de muestreos en la red de distribución; partiendo bajo el supuesto de que las características físico-químicas del agua de la fuente, normalmente son las mismas que en el agua de la red de distribución.

**Cuadro 2.1.2.** Frecuencia mínima de muestreo y número de muestras a recolectar para análisis físico-químicos en las fuentes de abastecimiento y red de distribución para los niveles N2 y N3 para el programa de control de calidad.

Población abastecida (habitantes)	Fuentes de abastecimiento		Red de distribución	
	Frecuencia	N° muestras	Frecuencia	N° muestras
<5.000	Cada 3 años	1 en cada fuente o en la mezcla de fuentes	Cada 3 años	1
5.000 a 100.000	Cada 2 años	1 en cada fuente o en la mezcla de fuentes	Cada 2 años	1
100.001 a 500.000	Anual	1 en cada fuente o en la mezcla de fuentes	Anual	1
>500.000	Trimestral	1 en cada fuente o en la mezcla de fuentes	Trimestral	1

Fuente: Decreto Ejecutivo N° 38924-S. Reglamento para la Calidad del Agua Potable 2015.

## 2.2. Técnicas de Laboratorio

Los procedimientos de análisis se basaron en las directrices del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* edición 22° (American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation, 2012) y los lineamientos del Sistema de Gestión de Calidad Acreditado, del Laboratorio Nacional de Aguas (LNA), de acuerdo a la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005.

## 2.3. Interpretación de los resultados

Los criterios para las evaluaciones microbiológicas y físico-químicas de los sistemas de potabilización, definidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo N° 32327-S y Decreto Ejecutivo N° 38924-S vigente a la fecha, son la base para determinar si el agua suministrada es potable o no.

El análisis microbiológico se trata de un análisis cualitativo, donde el resultado puntual denota un crecimiento detectable (positivo) o no detectable (negativo) para coliformes fecales y *Escherichia coli*. Para evaluar un acueducto se consideró el porcentaje de los análisis negativos respecto al total de análisis realizados durante el año para cada acueducto. En el artículo 12, inciso d, del reglamento vigente, se establece el criterio de cumplimiento de la normativa para los acueductos clorados:

“El agua potable cumple los criterios de la calidad microbiológica en aquellos sistemas de suministro de agua, donde se tenga que recolectar menos de 10 muestras en los seis meses, si la negatividad es igual o superior al 90 % y en los que se recolectan más de 10 muestras si es igual o superior al 95 %, tanto para coliformes fecales como para *Escherichia coli*.”

No obstante, las Guías para la calidad de agua potable, tercera edición (OMS, 2013), específicamente en la sección 5.5.2 *Uso de los datos en el ámbito regional* (ver Anexo 1), establece que el porcentaje de negatividad con que se evalúan los acueductos, varía en función de la población abastecida, independientemente del número de muestras que fueran recolectadas al año. El LNA interpreta los criterios microbiológicos de la siguiente forma:

- El agua potable cumple los criterios de la calidad microbiológica en aquellos

sistemas de suministro de agua, cuya población abastecida es inferior a 5000 habitantes, si la negatividad es igual o superior al 90 % para coliformes fecales; y en los sistemas que abastecen a poblaciones iguales o superiores a 5000 habitantes, si la negatividad es igual o superior al 95 %.

- En los acueductos no clorados, el agua cumplió con los criterios microbiológicos cuando, en al menos el 80 % de las muestras recolectadas durante el año, no se detectó la presencia de *E. coli*.

Los análisis de los parámetros físico-químicos son de índole cuantitativo, ya que los criterios se basan en valores máximos de concentración permisibles en el agua. Los resultados puntuales se pueden encontrar en los Apéndices del presente documento, en cuadros donde se indica fecha de muestreo, nombre del sistema (fuente o sector de la red), cantón y punto de recolección de las muestras. Los VMA establecidos por el Decreto Ejecutivo No. 38924-S se detallan en los Cuadros 2.3.1. al 2.3.4.

**Cuadro 2.3.1.** Parámetros de calidad del agua control operativo (CO).

Parámetro de aceptabilidad	Unidad	Valor Alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
Turbiedad	U.N.T.	1,00	5,00
Olor	-	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Sabor	-	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
pH	-	6,00	8,00
Cloro residual libre	mg/L	0,30	0,60

Para el parámetro de pH se establecen rangos permisibles y no VA ni VMA.

Fuente: Decreto Ejecutivo N° 38924-S. Reglamento para la Calidad del Agua Potable 2015.

**Cuadro 2.3.2.** Parámetros de calidad del agua nivel primero (N1).

Parámetro	Unidad	Valor Alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
Color Aparente	U-Pt-Co	5	15
Temperatura	°C		≥30
Conductividad	µS/cm	400	-
Cloro residual libre	mg/L	0,30	0,60

Para los parámetros temperatura y cloro residual libre se establecen rangos permisibles y no VA ni VMA.

Fuente: Decreto Ejecutivo N° 38924-S. Reglamento para la Calidad del Agua Potable 2015.



**Cuadro 2.3.3.** Parámetros de calidad del Agua nivel segundo (N2).

Parámetro	Unidad	Valor Alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
Aluminio	µg/L	-	200,0
Calcio	mg/L	-	100,0
Cloruro	mg/L	25,00	250,00
Cobre	µg/L	1000,0	2000,0
Dureza Total	mg/L	300	400
Fluoruro	mg/L	-	0,70 a 1,50
Hierro	µg/L	-	300,0*
Magnesio	mg/L	30,0	50,0
Manganeso	µg/L	100,0	500,0*
Potasio	mg/L	-	10,0
Sodio	mg/L	25,0	200,0
Sulfato	mg/L	25,0	250,0
Zinc	µg/L	-	3000,0

\*En aguas subterráneas donde se encuentran estos dos metales el VMA(Fe + Mn) es 300 µg/L.

Fuente: Decreto Ejecutivo N° 38924-S. Reglamento para la Calidad del Agua Potable 2015.

**Cuadro 2.3.4.** Parámetros de calidad del agua nivel tercero (N3).

Parámetro	Unidad	Valor Alerta (V.A)	Valor Máximo Admisible (V.M.A.)
Amonio	mg/L	0,05	0,50
Antimonio	µg/L	-	5,0
Arsénico	µg/L	-	10,0
Cadmio	µg/L	-	3,0
Cromo	µg/L	-	50,0
Mercurio	µg/L	-	1,0
Níquel	µg/L	-	20,0
Nitrato	mg/L	25,00	50,00
Nitrito	mg/L	-	0,10
Plomo	µg/L	-	10,0
Selenio	µg/L	-	10,0

Fuente: Decreto Ejecutivo N° 38924-S. Reglamento para la Calidad del Agua Potable 2015.

Para efectos del presente informes, se define que el agua de un acueducto es potable cuando no causa ningún daño en la salud al ser ingerida, y que sus características organolépticas no generan rechazo por parte de los consumidores. Esta definición sugiere que el agua que presente valores superiores al VMA de parámetros no nocivos y que no estén afectando la estética del agua, podría ser considerada de calidad potable. Por esta razón, los parámetros del reglamento vigente fueron clasificados según su efecto en la calidad del agua: de significado para la salud, estético, operativo o indicadores de contaminación. En el cuadro 2.3.5 se detalla la clasificación de los parámetros.

El agua suministrada por un acueducto se consideró de calidad no potable, cuando la concentración promedio de alguno de los parámetros que generen rechazo por parte de los consumidores o de significado para la salud, superara el VMA en la red de distribución. En ausencia de muestreos en la red de distribución, se consideró no potable cuando la concentración promedio en las fuentes de abastecimiento superara el VMA. En caso de que, en los años anteriores (2014 o 2013), el agua de un acueducto haya sido considerada no potable debido a parámetros físico-químicos de los niveles N2 o N3, y que durante el 2016 no se analizaran estos parámetros (frecuencia de muestreo bianual o trianual según población abastecida), se determinó que la calidad del agua seguía siendo no potable, hasta que se evidenciara lo contrario.

Cabe resaltar, que el criterio de expertos fue tomado en cuenta para determinar la potabilidad del agua de un acueducto. Se define criterio de experto como el juicio de profesionales que trabajen con análisis físico-químicos, microbiológicos y biológicos del agua para consumo humano, que se basa en experiencia, datos históricos y conocimiento científico.

Los porcentajes de potabilidad o cobertura de se calcularon con base en la población abastecida con agua de calidad potable. Éstos varían en función del número de habitantes de los acueductos clasificados como no potables. Es decir, un acueducto que suministre agua no potable a 30.000 personas va a reducir considerablemente el porcentaje de potabilidad, que uno que suministre agua no potable a 500 personas.

**Cuadro 2.3.5.** Clasificación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos según su efecto en la calidad del agua.

<b>Tipo</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Observación</b>
Estéticos	Cloruros	Valores superiores al VMA no representan un riesgo para la salud ni generan rechazo por parte de los consumidores.
	Potasio	
	Sodio	
	Zinc	
	Calcio	Valores superiores al VMA no representan un riesgo para la salud, pero pueden generar rechazo por parte de los consumidores.
	Dureza total	
	Magnesio	
	Sulfatos	
	Hierro	
	Manganeso	Valores superiores al VMA no necesariamente representan un riesgo para la salud, pero generan rechazo por parte de los consumidores.
	Color aparente	
	Turbiedad	
	Olor	
Operativos	Temperatura	Valores superiores al VMA no representan un riesgo para la salud ni generan rechazo por parte de los consumidores.
	pH	Valores superiores a 8,5 o inferiores a 5,5 pueden modificar las propiedades organolépticas del agua (pH ácidos disuelven metales de la corteza terrestre) y ocasionar daños técnicos en infraestructura o deficiencia en los procesos de tratamiento (pH básicos forman incrustaciones en tuberías).
	Cloro residual libre	Valores superiores a 1,00 mg/L no representan un riesgo para la salud, pero podrían generar rechazo por parte de los consumidores. Valores inferiores a 0,30 mg/L presentan un riesgo de contaminación microbiana, al no contar con el efecto residual del desinfectante.
	Conductividad	Valores entre (400-1000) $\mu\text{S}/\text{cm}$ no representan un riesgo a la salud, indican irregularidades o posible contaminación. Valores superiores a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indican presencia de contaminantes; ej.: intrusión salina.
Indicador de contaminación	Amonio	Valores superiores al VMA indican una posible contaminación por materia orgánica, pero que por sí mismo no resulta dañino para la salud.
Significado para la salud	Fluoruros	Valores superiores al VMA pueden generar efectos adversos en la salud.

**Cuadro 2.3.5.** Clasificación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos según su efecto en la calidad del agua.

Tipo	Parámetros	Observación
	Coliformes fecales	Valores superiores al VMA indican una posible contaminación, y pueden generar efectos adversos en la salud.
	Cobre	Valores superiores al VMA pueden generar efectos adversos en la salud y provocar rechazo por los consumidores.
	Nitratos	Valores superiores al VMA indican una posible contaminación antropogénica, y pueden generar efectos adversos en la salud.
	Nitritos	
	Aluminio	Valores superiores a 900 µg/L pueden ser nocivos para la salud
	Selenio	Valores superiores a 40,00 µg/L pueden ser nocivos para la salud.
	Antimonio	Valores superiores al VMA pueden ser nocivos para la salud.
	Arsénico	
	Cadmio	
	Cianuro	
	Cromo	
	Mercurio	
	Níquel	
	Plomo	
	Nivel 4	

Fuente: Elaborado por un equipo multidisciplinario de profesionales del LNA en el 2017.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. San José

En el Cuadro 3.1.1 se enumeran los acueductos operados por municipalidades en la provincia de San José, clorados y no clorados, que presentaron agua de calidad no potable, junto con los parámetros incumplidos.

**Cuadro 3.1.1.** Acueductos operados por municipalidades con agua de calidad No Potable en la provincia de San José durante el 2016.

Acueducto/Municipalidad	Parámetros incumplidos*
<b>Acueductos clorados</b>	
<b>Aserrí</b>	
LOURDES DE ASERRÍ: PARTE ALTA	Microbiológico
<b>Dota</b>	
BARRIO LOS ÁNGELES DE SANTA MARÍA	Aluminio
	Aluminio
SANTA MARÍA DE DOTA: CENTRO	pH bajo
	Hierro
<b>León Cortés</b>	
ROSARIO DE SAN PABLO DE LEÓN CORTÉS	Microbiológico
<b>Acueductos <u>no</u> clorados</b>	
<b>Aserrí</b>	
ASERRÍ: SECTOR ABASTECIDO POR LA QUEBRADA AGUA BLANCA	Microbiológico

\*Incumplimiento considerado de riesgo para la salud del consumidor o que afecte la aceptabilidad por parte de los consumidores. Microbiológico: se refiere a la presencia de coliformes fecales para acueductos clorados o de *E. coli* para acueductos no clorados.

Fuente: Área Agua Potable, LNA.

### 3.2. Alajuela

En el Cuadro 3.2.1 se enumeran los acueductos operados por municipalidades en la provincia de Alajuela, clorados y no clorados, que presentaron agua de calidad no potable, junto con los parámetros incumplidos.

**Cuadro 3.2.1.** Acueductos operados por municipalidades con agua de calidad No Potable en la provincia de Alajuela durante el 2016.

Acueducto/Municipalidad	Parámetros incumplidos*
<b>Acueductos clorados</b>	
<b>Alajuela</b>	
DULCE NOMBRE DE LA GARITA DE ALAJUELA	Microbiológico
TURRÚCARES CENTRO Y SUROESTE DE ALAJUELA	Microbiológico
<b>San Carlos</b>	
LA ISLA DE CIUDAD QUESADA	Microbiológico
<b>Acueductos <u>no</u> clorados</b>	
<b>Poás</b>	
LA HILDA DE SAN PEDRO DE POÁS	Microbiológico
PLATANILLO DE CARILLOS DE SAN PEDRO DE POÁS	Microbiológico

\*Incumplimiento considerado de riesgo para la salud del consumidor o que afecte la aceptabilidad por parte de los consumidores. Microbiológico: se refiere a la presencia de coliformes fecales para acueductos clorados o de *E. coli* para acueductos no clorados.

Fuente: Área Agua Potable, LNA.

### 3.3. Cartago

3.4. En el Cuadro 3.3.1 se enumeran los acueductos operados por municipalidades en la provincia de Cartago, clorados y no clorados, que presentaron agua de calidad no potable, junto con los parámetros incumplidos.

**Cuadro 3.3.1.** Acueductos operados por municipalidades con agua de calidad No Potable en la provincia de Cartago durante el 2016.

Acueducto/Municipalidad	Parámetros incumplidos*
<b>Acueductos clorados</b>	
<b>Alvarado</b>	
SISTEMA 4: PACAYAS LOS ÁNGELES	Microbiológico
<b>Oreamuno</b>	
CALLE LUCAS DE OREAMUNO	Microbiológico
SANTA EDUVIGES DE SAN RAFAEL DE OREAMUNO	Microbiológico
<b>Paráiso</b>	
PARAÍSO DE CARTAGO: CENTRO	Nitratos
<b>Turrialba</b>	
REPASTO DE TURRIALBA	Microbiológico
<b>Acueductos <u>no</u> clorados</b>	
<b>Alvarado</b>	
SISTEMA 11: PACAYAS LLANO GRANDE 4	Microbiológico
SISTEMA 1: PACAYAS CENTRO SECTOR MOCHON	Microbiológico
<b>Concejo Distrital de Cervantes</b>	
CERVANTES DE ALVARADO: SECTOR LA CASITA	Microbiológico
EL BAJO DE CERVANTES DE ALVARADO	Microbiológico
EL DESCANSO DE CERVANTES DE ALVARADO	Microbiológico
<b>Turrialba</b>	
EL PORÓ DE TURRIALBA	Microbiología
GUAYABO DE TURRIALBA	Microbiológico

\*Incumplimiento considerado de riesgo para la salud del consumidor o que afecte la aceptabilidad por parte de los consumidores. Microbiológico: se refiere a la presencia de coliformes fecales para acueductos clorados o de *E. coli* para acueductos no clorados.

Fuente: Área Agua Potable, LNA.

### 3.5. Heredia

En el Cuadro 3.4.1 se enumeran los acueductos operados por municipalidades en la provincia de Heredia que presentaron agua de calidad no potable, junto con los parámetros incumplidos. Todos los acueductos operados por la ESPH suministraron agua de calidad potable.

**Cuadro 3.4.1.** Acueductos operados por municipalidades con agua de calidad No Potable en la provincia de Heredia durante el 2016.

Acueducto/Municipalidad	Parámetros incumplidos*
<b>Acueductos clorados</b>	
<b>Santa Bárbara</b>	
BARRIO ESTADIO DE SANTA BÁRBARA	Microbiológico
SANTA BÁRBARA CENTRO: SECTOR ESTE	Aluminio pH bajo
SANTA BÁRBARA CENTRO: SECTOR OESTE	Aluminio pH bajo
URBANIZACIÓN RUISEÑOR DE JESÚS DE SANTA BÁRBARA	Microbiológico

\*Incumplimiento considerado de riesgo para la salud del consumidor o que afecte la aceptabilidad por parte de los consumidores. Microbiológico: se refiere a la presencia de coliformes fecales para acueductos clorados o de *E. coli* para acueductos no clorados.

Fuente: Área Agua Potable, LNA.



### **3.6. Guanacaste**

Todos los acueductos operados por municipalidades de la provincia de Guanacaste suministraron agua de calidad potable en el 2016.

### **3.7. Puntarenas**

Todos los acueductos operados por la municipalidad de la provincia de Puntarenas suministraron agua de calidad potable en el 2016.

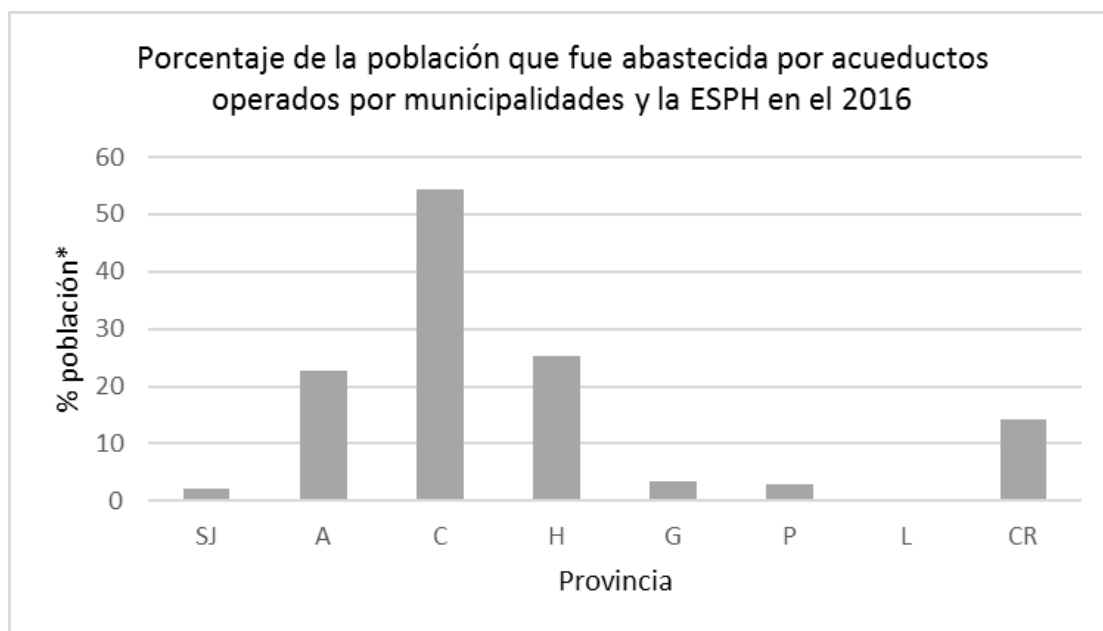
### **3.8. Limón**

No hubo acueductos operados por municipalidades en la provincia de Limón para el año 2016.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERAL

Los acueductos operados por las municipalidades inscritas al Programa Sello de Calidad Sanitaria, o que firmaron convenios de control de calidad con el LNA, presentaron mayor cantidad de muestras colectadas. Por esta razón, es importante tener en cuenta, que las evaluaciones del programa vigilancia de la calidad no tienen el mismo grado de precisión, que las evaluaciones obtenidas en un programa de control de calidad; ya que estas últimas son continuas y sistemáticas. Sin embargo, los resultados de las evaluaciones puntuales brindan una visión aproximada de las condiciones de operación en los diferentes acueductos al efectuar el muestreo, a través de las inspecciones sanitarias y los análisis microbiológicos y físico-químicos.

Durante el 2016, la población abastecida por los acueductos operados por municipalidades y la ESPH en Costa Rica fue de 935.433 personas, que corresponde aproximadamente a un 14 % del total de la población del país (Figura 4.1). Un 97,0 % recibió agua de calidad potable, un 2,9 % agua de calidad no potable y menos de un 0,1 % recibió agua sin evaluar (Cuadro 4.3 y Figura 4.2). En los Cuadros 4.1 al 4.5 se detalla la población abastecida y el número de acueductos operados por municipalidades y la ESPH, según la calidad del agua suministrada durante el 2016.



**Figura 4.1.** Porcentaje de la población de cada provincia que es abastecida por acueductos operados por municipalidades y la ESPH en el 2016.

\*Población nacional total proyectada al 30 de junio 2016.

Fuente: Ministerio de Planificación de Costa Rica y Área de Agua Potable del LNA.

**Cuadro 4.1.** Número de acueductos operados por municipalidades y la ESPH según calidad de agua por provincia durante el 2016.

Provincia	Totales			
	Potable	No potable	SE	Total
San José	24	5	1	30
Alajuela	67	5	0	72
Cartago	65	12	0	77
Heredia	49	4	1	54
Guanacaste	2	0	0	2
Puntarenas	4	0	0	4
Limón	0	0	0	0
<b>Municipalidades</b>	211	26	2	239
ESPH	14	0	0	14
<b>Total</b>	<b>225</b>	<b>26</b>	<b>2</b>	<b>253</b>

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

**Cuadro 4.2.** Número de acueductos clorados y no clorados operados por municipalidades y la ESPH según calidad de agua por provincia durante el 2016.

Provincia	Clorados				No Clorados			
	Potable	No potable	SE	Total	Potable	No potable	SE	Total
	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.
San José	24	4	1	29	0	1	0	1
Alajuela	65	3	0	68	2	2	0	4
Cartago	55	5	0	60	10	7	0	17
Heredia	49	4	1	54	0	0	0	0
Guanacaste	2	0	0	2	0	0	0	0
Puntarenas	4	0	0	4	0	0	0	0
Limón	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Municipalidades</b>	199	16	2	217	12	10	0	22
ESPH	14	0	1	14	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>213</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>231</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>22</b>

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

**Cuadro 4.3.** Población abastecida por acueductos operados por municipalidades y la ESPH según calidad de agua por provincia durante el 2016.

Provincia	Población	Totales					
		Potable		No potable		SE	
		No.	%	No.	%	No.	%
San José	33425	31165	93,2	2225	6,7	35	0,1
Alajuela	220399	215285	97,7	5114	2,3	0	0,0
Cartago	285265	269836	94,6	15429	5,4	0	0,0
Heredia	126492	121403	96,0	4743	3,7	346	0,3
Guanacaste	12824	12824	100,0	0	0,0	0	0,0
Puntarenas	13594	13594	100,0	0	0,0	0	0,0
Limón	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<b>Municipalidades</b>	691999	664107	96,0	27511	3,9	381	0,1
ESPH	243434	243434	100,0	0	0,0	0	0,0
<b>Total</b>	<b>935433</b>	<b>907541</b>	<b>97,0</b>	<b>27511</b>	<b>2,9</b>	<b>381</b>	<b>0,0</b>

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

**Cuadro 4.4.** Población abastecida por acueductos clorados operados por municipalidades y la ESPH según calidad de agua por provincia durante el 2016.

Provincia	Población	Clorados					
		Potable		No potable		SE	
		No.	%	No.	%	No.	%
San José	33375	31165	93,4	2175	6,5	35	0,1
Alajuela	217270	212217	97,7	5053	2,3	0	0,0
Cartago	271337	257345	94,8	13992	5,2	0	0,0
Heredia	126492	121403	96,0	4743	3,7	346	0,3
Guanacaste	12824	12824	100,0	0	0,0	0	0,0
Puntarenas	13594	13594	100,0	0	0,0	0	0,0
Limón	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<b>Municipalidades</b>	674892	648548	96,1	25963	3,8	381	0,1
ESPH	243434	243434	100,0	0	0,0	0	0,0
<b>Total</b>	<b>918326</b>	<b>891982</b>	<b>97,1</b>	<b>25963</b>	<b>2,8</b>	<b>381</b>	<b>0,0</b>

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

**Cuadro 4.5.** Población abastecida por acueductos no clorados operados por municipalidades y la ESPH según calidad de agua por provincia durante el 2016.

Provincia	Población	No clorados					
		Potable		No potable		SE	
		No.	%	No.	%	No.	%
San José	50	0	0,0	50	100,0	0	0,0
Alajuela	3129	3068	98,1	61	1,9	0	0,0
Cartago	13928	12491	89,7	1437	10,3	0	0,0
Heredia	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Guanacaste	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Puntarenas	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Limón	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<b>Municipalidades</b>	17107	15559	0,0	1548	0,0	0	0,0
ESPH	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
<b>Total</b>	<b>17107</b>	<b>15559</b>	<b>0,0</b>	<b>1548</b>	<b>0,0</b>	<b>0</b>	<b>0,0</b>

Fuente: Área de Agua Potable, LNA.

Cartago fue la provincia que presentó la mayor cobertura por acueductos municipales, seguida de Heredia y Alajuela (Figura 4.1). Guanacaste y Puntarenas suministraron agua potabilidad al 100 % de sus abonados; sin embargo, estas dos provincias abastecen a menos de un 3 % de la población nacional que recibe agua por acueductos municipales. La provincia que les sigue con mayor porcentaje de potabilidad fue Alajuela con 97,7 %, y con menor fue San José con 93,2 % (Cuadro 4.2). La ESPH abasteció con agua potable a la totalidad de sus abonados durante el 2016.

Un total de 918.326 habitantes fueron abastecidos con agua clorada suministrada por acueductos municipales (equivalente al 98,2 %) y 17.107, con agua no clorada (equivalente al restante 1,8 %) (Cuadro 1.1). Solo las provincias de San José, Alajuela y Cartago presentaron acueductos no clorados operados por municipalidades (Cuadro 4.5).

La finalidad principal de la cloración es la desinfección microbiana (OMS, 2013). El Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924– S) estipula en el artículo 17 el uso de cloro residual como agente desinfectante, con el fin de mantener un nivel de cloro residual libre que garantice la inocuidad del agua, ante eventuales contaminaciones en la red de distribución. El documento establece un ámbito admisible de 0,3 a 0,6 mg/L respectivamente, permitiendo valores de hasta 0,8

mg/L en no más del 20 % de las muestras medidas y en situaciones de emergencia calificadas por el Ministerio de Salud. Una adecuada concentración de cloro residual libre protege el agua de una posible re-contaminación entre el punto de cloración y el punto de consumo (OMS, 2013).

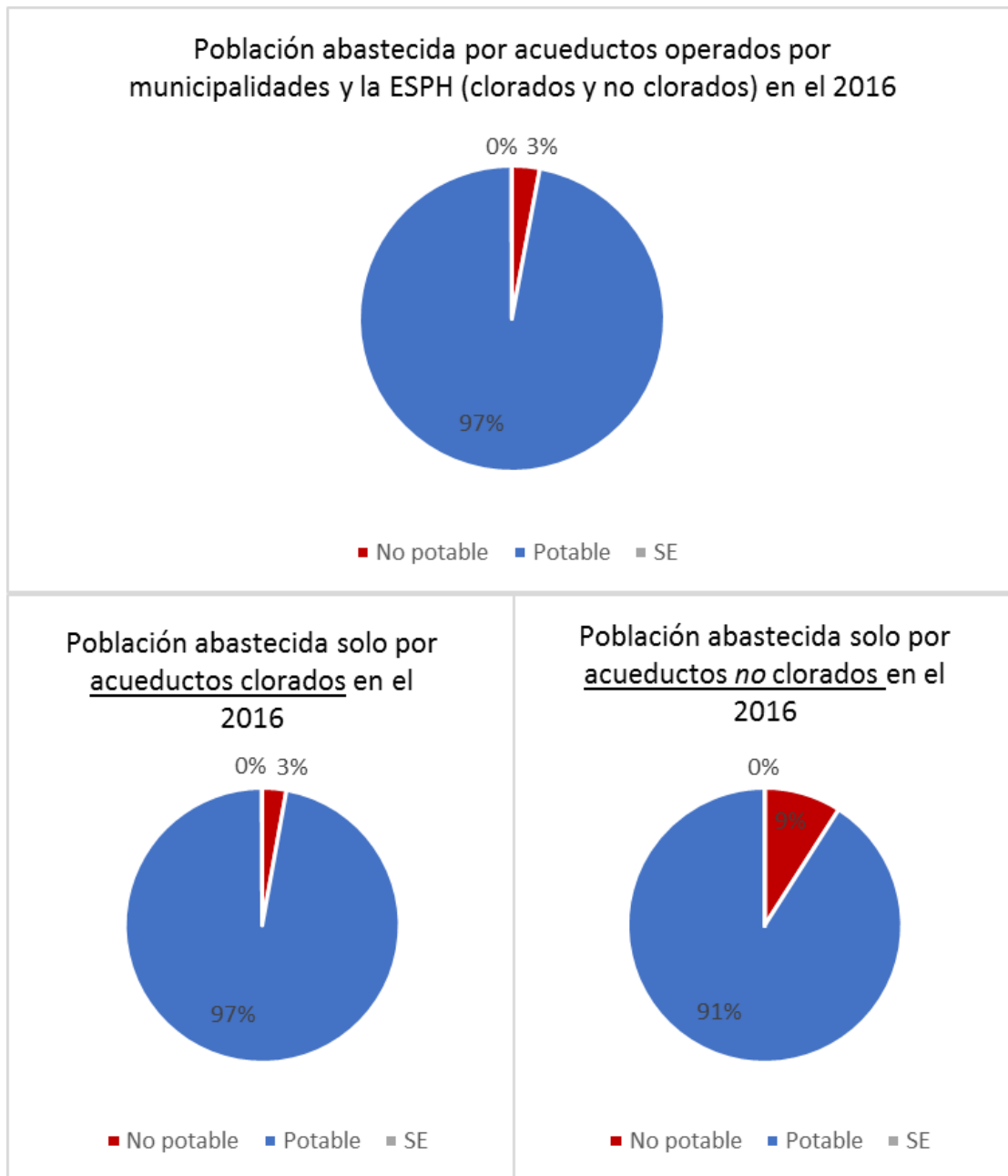
La presencia del cloro en el agua no implica necesariamente la ausencia de coliformes fecales, ni la ausencia de cloro supone la presencia de los microorganismos. La detección de coliformes fecales y *Escherichia coli* en los acueductos clorados, puede ser producto de un tratamiento de desinfección deficiente, dosificación de cloro inadecuada, tiempo insuficiente de contacto entre el agua con el cloro, falta de continuidad del proceso de desinfección, posibilidad de una contaminación posterior al tratamiento y falta de limpieza de la tubería. Se debe considerar que en las zonas de bajo consumo donde el tiempo de residencia del agua en la tubería es alto, esto favorece la contaminación; falta de limpieza de la tubería, conexiones cruzadas, falta de continuidad del servicio y zonas de baja presión.

La alta turbiedad en el agua es un factor que imposibilita la cloración del agua, debido a que la acción del cloro se vuelve ineficiente, logrando pasar desapercibidos los microorganismos entre la materia orgánica (Hussein, y otros, 2015). El agua de las fuentes subsuperficiales y subterráneas, normalmente no presenta niveles altos de turbiedad, y se podría aplicar cloración sin un tratamiento previo para remover la materia orgánica y sedimentos. En cambio, las fuentes superficiales se encuentran expuestas a la contaminación y precisan de un tratamiento previo (para bajar turbiedad y color) antes de aplicar cloración.

El porcentaje de cobertura con agua no potable de acueductos no clorados, fue el triple que el de acueductos clorados: 3 % para clorados y 9 % para no clorados (Figura 4.2); poniendo en evidencia la importancia de la desinfección. Menos de un 0,1 % de la población fue abastecida por 2 acueductos sin evaluar: Sáurez de Aserrí: Sector La Cuesta del Ripio, y La Bugambilia del Llorante de Flores (fuera de operación cuando el caudal es reducido, en proceso de mejora según información de los encargados del acueducto en la Municipalidad de Flores).

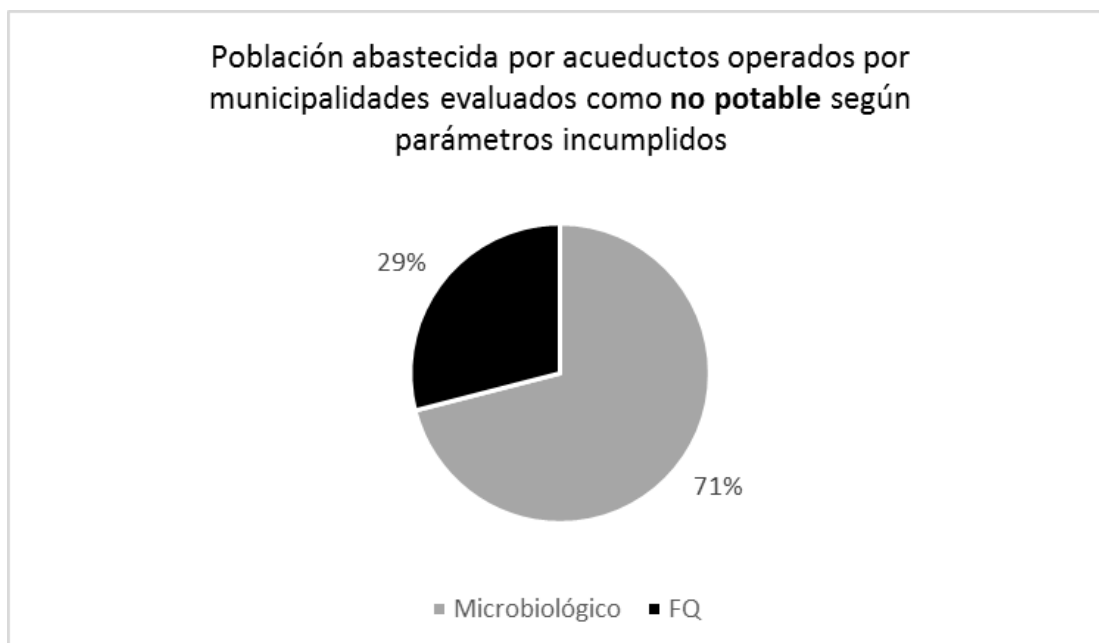
El incumplimiento de los parámetros microbiológicos fue la principal causa del deterioro en la calidad del agua. La no potabilidad de los acueductos no clorados se debió únicamente al incumplimiento de los parámetros. En el caso de los acueductos clorados, el 71 % se debió al incumplimiento de parámetros microbiológicos (Figura 4.3);

el restante 29 % se debió al incumplimiento en las concentraciones de nitratos, aluminio, hierro, y a valores de pH inferiores a 5,0.



**Figura 4.2.** Población abastecida por acueductos operados por municipalidades y la ESPH según calidad del agua durante el 2016.

Fuente: Agua Potable, LNA.



**Figura 4.3.** Población abastecida por acueductos clorados operados por municipalidades evaluados como no potables según parámetros incumplidos durante el 2016.

Fuente: Agua Potable, LNA.

#### Incumplimiento parámetros físico-químicos

De acuerdo con las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), los nitratos son considerados de significado para la salud con tan solo un tiempo de exposición corto. Una vez ingeridos, los nitratos se reducen a nitritos gracias al metabolismo de bacterias presentes en el organismo. Los nitritos son compuestos tóxicos para la salud, debido a que producen metahemoglobinemia o síndrome del recién nacido cianótico. La incidencia de dicho cuadro clínico se asocia con la presencia de contaminación microbiana (OMS, 2011); es decir, el riesgo a la salud aumenta significativamente cuando el agua presenta coliformes fecales, además de altas concentraciones de nitratos.

El origen de los nitratos en el agua puede ser consecuencia de la descomposición de materia vegetal, uso excesivo de fertilizantes inorgánicos nitrogenado, acumulación de abono y estiércol, y del mal manejo de las aguas residuales domésticas, incluida la falta de mantenimiento de tanques sépticos. El valor de referencia de riesgo para la salud del consumidor de 50,0 mg/L de nitratos se establece para un subgrupo de población específico y vulnerable (los lactantes alimentados con biberón), de modo que el valor de referencia es más que suficiente para proteger a los niños de mayor edad y a los adultos (OMS, 2011).



En el cantón de Paraíso y Oreamuno se reportaron concentraciones de nitratos superiores al VMA en el 2015 (periodo de evaluación anterior). Sin embargo, el agua de los acueductos de la zona de Oreamuno presentaron concentraciones de nitratos inferiores al VMA en el 2016 (presente periodo de evaluación). El acueducto Paraíso de Cartago Centro se consideró de calidad no potable, al carecer de datos en el 2016 para los parámetros de los niveles N2 y N3; por lo tanto, se mantuvo la calidad no potable evaluada en el periodo anterior. El acueducto Santa Eduvigis de San Rafael de Oreamuno presentó un alto riesgo para la salud, ya que fue considerado no potable por la presencia de coliformes fecales, y presentó altos nitratos en el periodo anterior, por lo que requiere de especial atención.

El riesgo de presentar un cuadro de metahemoglobinemia, por medio de la ingesta de agua con altas concentraciones de nitratos, se incrementa si los consumidores presentan simultáneamente infecciones gastrointestinales. Por lo tanto, resulta crucial mantener un proceso de desinfección continuo con una concentración de 0,3 a 0,7 mg/L, para disminuir la carga bacteriana.

De acuerdo con las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), existe poca evidencia de la toxicidad del aluminio mediante su ingesta oral. A pesar de que varios estudios epidemiológicos han demostrado una relación positiva entre la ingesta de aluminio en el agua y la enfermedad de Alzheimer, el riesgo de desarrollar la enfermedad bajo una exposición de aluminio en el agua de consumo en concentraciones superiores a 100 µg/L, pareciera ser bajo.

El grado de absorción de aluminio mediante la ingesta de agua permanece incierta, ya que depende de parámetros, como el pH para la especiación y solubilidad del aluminio (OMS, 2011). El Comité Mixto FAO/WHO de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), en el reporte 67<sup>a</sup> del 2011, estableció la ingesta semanal tolerable provisional (*Provisional Tolerable Weekly Intake: PTWI*) de aluminio en 1 mg/kg. Con base en las especificaciones de las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011), se definió un valor de referencia de riesgo para la salud del consumidor de 0,9 mg/L, para lo cual se le atribuye un 20 % del PTWI al agua para consumo y se utiliza como referencia un adulto de 60 kg que ingiere al día 2 L de agua.

El hierro es considerado por las Guías para la Calidad del Agua Potable (OMS, 2011) como un parámetro, cuya presencia en el agua de consumo, puede afectar la aceptabilidad de la misma por parte de los consumidores, mas no representa un riesgo

para la salud a las concentraciones normalmente encontradas en el agua de consumo. Concentraciones en el agua mayores a 0,3 mg/L pueden ocasionar daños en tuberías y teñir la ropa cuando se lava.

En el 2015 (periodo de evaluación anterior), el agua de las nacientes del acueducto Barrio Los Ángeles de Santa María de Dota se consideró de calidad no potable; ya que se detectaron concentraciones de aluminio superiores al valor propuesto. Lo mismo sucedió con el agua de las nacientes de los acueductos Santa Bárbara Centro Sector Este, Santa Bárbara Sector Oeste y Santa María de Dota Centro, que presentó altas concentraciones de aluminio y valores de pH por debajo de 5,0. El acueducto Santa María de Dota Centro presentó además concentraciones altas de hierro. La ausencia de datos en el 2016, para los parámetros de los niveles N2 y N3, determinó que la calidad del agua de estos acueductos, en el cantón de Dota y Santa Bárbara, fuera considerada no potable en el presente informe.

Resulta relevante identificar los acueductos que fueron considerados de calidad no potable debido al incumplimiento de parámetros microbiológicos para el periodo de evaluación anterior (2015), y que siguen manteniendo la calidad no potable para el periodo del presente informe (2016). En el Cuadro 4.6 se enumeran estos acueductos

**Cuadro 4.6.** Acueductos no potables debido a la presencia de coliformes fecales durante el presente periodo (2016) y el anterior (2015).

<b>Acueducto clorados</b>	<b>Cantón</b>
BARRIO LOS ÁNGELES DE SANTA MARÍA	Dota
SANTA MARÍA DE DOTA: CENTRO	Dota
LOURDES DE ASERRÍ: PARTE ALTA	Aserrí
SISTEMA 4: PACAYAS LOS ÁNGELES	Alvarado
CALLE LUCAS DE OREAMUNO	Oreamuno
SANTA EDUVIGES DE SAN RAFAEL DE OREAMUNO	Oreamuno
PARAÍSO DE CARTAGO: CENTRO	Paraíso
SISTEMA 11: PACAYAS LLANO GRANDE 4	Alvarado
CERVANTES DE ALVARADO: SECTOR LA CASITA	Cervantes (Concejo Distrital)
EL BAJO DE CERVANTES DE ALVARADO	Cervantes (Concejo Distrital)

**Cuadro 4.6.** Acueductos no potables debido a la presencia de coliformes fecales durante el presente periodo (2016) y el anterior (2015).

<b>Acueducto clorados</b>	<b>Cantón</b>
SANTA BÁRBARA CENTRO: SECTOR ESTE	Santa Bárbara
SANTA BÁRBARA CENTRO: SECTOR OESTE	Santa Bárbara
BARRIO LOS ÁNGELES DE SANTA MARÍA	Dota
<b>Acueducto no clorado</b>	<b>Cantón</b>
ASERRÍ: SECTOR ABASTECIDO POR LA QUEBRADA AGUA BLANCA	Aserri

Fuente: Agua Potable, LNA.

Al comparar los resultados obtenidos con los del periodo anterior (2015), se observa una mejora en la calidad del agua. El porcentaje de potabilidad o cobertura de los acueductos operados por municipalidades y la ESPH, aumentó de 89,3 % a 97,0 %. El número de acueductos potable aumentó, mientras que el de los no potables disminuyó a menos de la mitad. La población que recibió agua de calidad no potable se redujo en más de 2 tercios. De igual forma se ha reducido la población abastecida por acueductos no clorados, debido a que se han implementado medidas para expandir el tratamiento de desinfección. Tal es el caso de los acueductos no clorados de la Municipalidad de Grecia, cuyos abonados comenzaron a recibir agua de los sectores clorados; o el caso del acueducto Carmona de Nandayure, que pasó a ser clorado en el 2016. La mejora en la calidad microbiológica del agua de los acueductos, podría ser consecuencia de la disminución de acueductos no clorados; al igual que de medidas correctivas para mejorar los procesos de desinfección en los acueductos clorados.

Es importante recalcar que la época del año en que se recolecte la muestra, influye directamente en los resultados de los análisis. En temporada lluviosa, normalmente se observa mayor turbiedad y materia orgánica en las fuentes superficiales, debido a la escorrentía, donde el agua de lluvia arrastra consigo partículas de tierra hasta el cuerpo de agua. En la época seca el caudal de los pozos disminuye, debido a la baja tasa de recarga acuífera; como resultado se obtienen mayores concentraciones de los elementos naturales presentes en los acuíferos (hierro, magnesio, manganeso, aluminio, arsénico, entre otros); la cantidad del elemento sigue siendo la misma, pero el volumen de agua es menor.

## 5. CONCLUSIONES

- Aproximadamente un 14 % de la población de Costa Rica (935.433 personas) fue abastecida por acueductos operados por municipalidades y la ESPH durante el 2016.
- Cartago fue la provincia que presentó la mayor cobertura por acueductos operados por municipalidades, seguida de Heredia y Alajuela.
- El 97,0 % de la población abastecida por acueductos operados por municipalidades y la ESPH recibió agua de calidad potable, un 2,9 % recibió agua de calidad no potable y menos de un 0,1 % recibió agua sin evaluar.
- La ESPH abasteció con agua potable a la totalidad de sus abonados.
- Los acueductos operados por municipalidades de la provincia de Guanacaste (Nandayure y Las Juntas de Abangares) y Puntarenas (Montes de Oro) suministraron agua de calidad potable al 100 % de su población; sin embargo, estas dos provincias abastecen a menos de un 3 % de la población nacional que recibe agua por acueductos municipales.
- El porcentaje de cobertura con agua no potable de acueductos no clorados, fue el triple que el de acueductos clorados.
- La principal causa del detrimento en la calidad del agua fue el incumplimiento de los parámetros microbiológicos.
- La acción desinfectante del cloro desempeñó un papel importante en la calidad del agua, dado que la proporción de acueductos no potables fue mayor en los acueductos donde no aplicaron cloración.
- La presencia del cloro residual en el agua no implica necesariamente la ausencia de coliformes fecales, ni la ausencia de cloro supone la presencia de los microorganismos.

- La no potabilidad de los acueductos no clorados se debió únicamente al incumplimiento de los parámetros microbiológicos.
- La no potabilidad de los acueductos clorados se debió en un 71 % al incumplimiento de los parámetros microbiológicos, y el restante 29 % al incumplimiento en las concentraciones de nitratos, aluminio, hierro y a valores de pH inferiores a 5,0.
- El acueducto Paraíso de Cartago Centro se consideró de calidad no potable, debido a las elevadas concentraciones de nitratos reportadas en el periodo de evaluación anterior (2015).
- El acueducto Santa Eduvigis de San Rafael de Oreamuno presentó un alto riesgo para la salud, ya que fue considerado no potable por la presencia de coliformes fecales, y presentó altos niveles de nitratos en el periodo anterior (2015).
- El agua de las nacientes del acueducto Barrio Los Ángeles de Santa María de Dota se consideró de calidad no potable, ya que se detectaron concentraciones de aluminio superiores al valor de referencia para la salud, propuesto en el periodo de evaluación anterior (2015).
- El agua de las nacientes de los acueductos Santa Bárbara Centro Sector Este y Santa Bárbara Sector Oeste, se consideró de calidad no potable, debido a concentraciones de aluminio superiores al valor propuesto y valores de pH inferiores a 5,0, reportadas en el periodo de evaluación anterior (2015).
- El agua del acueducto Santa María de Dota Centro se consideró de calidad no potable, ya que se reportaron altas concentraciones de aluminio, hierro y valores de pH por debajo de 5,0 en el periodo de evaluación anterior (2015).
- La mejora en la calidad microbiológica del agua de los acueductos, podría ser consecuencia de la disminución de acueductos no clorados; al igual que de medidas correctivas para mejorar los procesos de desinfección en los acueductos clorados.

- Se observa una mejora en la calidad de los acueductos municipales, con respecto al año anterior.
- En el 2016, se incrementó el número de acueductos municipales potables, y el de los no potables se redujo a menos de la mitad, con respecto al año anterior.
- El porcentaje de la población abastecida con agua de calidad potable proveniente de acueductos operados por municipalidades y ESPH, aumentó de 89,3 %, en el 2015, a 97,0 % en el 2016.
- La mejora en la calidad microbiológica del agua de los acueductos operados por municipalidades y la ESPH, podría ser consecuencia de la disminución de acueductos no clorados, y a medidas correctivas para mejorar los procesos de desinfección en los acueductos clorados.

## 6. RECOMENDACIONES

- Verificar los procesos de cloración en los acueductos clorados, donde se detecta presencia de indicadores fecales; que haya una adecuada dosificación de cloro y suficiente tiempo de contacto con el agua, continuidad en el proceso de desinfección, limpieza de tuberías y tanques.
- Mantener el residual de cloro de acuerdo a la demanda establecida en los acueductos en los que se aplica cloración continua. En las partes más distales de la red de distribución, de los sistemas citados se debe mantener un residual mínimo de 0,3 mg/L y un máximo de 0,7 mg/L.
- Incentivar a las municipalidades, que administran acueductos, a participar en el Programa Sello de Calidad Sanitaria; con el fin de mejorar la gestión del recurso hídrico, por parte del ente operador, lo que conlleva a una mejora en la calidad del agua de consumo.
- Implementar medidas de protección en las zonas aledañas a las fuentes de abastecimiento superficial y subsuperficial, con el propósito de evitar la contaminación del agua; lo que conlleva a una mejora en la calidad del agua y disminución en los costos de operación, a la hora de potabilizar el agua.
- Verificar que el proceso de desinfección sea continuo y eficiente en el agua suministrada por el acueducto Paraíso de Cartago Centro, que presentó altas concentraciones de nitratos en el 2015; ya que el riesgo de presentar un cuadro de metahemoglobinemia se incrementa si los consumidores, que ingieren agua con altas concentraciones de nitratos, presentan simultáneamente infecciones gastrointestinales.
- Proteger las fuentes de los acueductos clorados del cantón de Paraíso y Oreamuno de Cartago, que presentaron altas concentraciones de nitratos durante el 2016 o 2015, mediante un plan de gestión del uso del suelo en las zonas aledañas (cuenca hidrográfica); con el fin de proteger al agua de estos contaminantes que se infiltran por el suelo.

- Diluir el agua de los acueductos, donde se detectaron concentraciones de aluminio superiores a 0,9 mg/L, con agua proveniente de otras fuentes de calidad potable antes de ingresar a la red de distribución; con el propósito de disminuir las concentraciones de los contaminantes. De no ser posible, reemplazar la fuente por una nueva de calidad potable y un caudal suficiente como para abastecer la demanda; o bien, valorar la opción de implementar un tratamiento de remoción del contaminante.
- Solicitar el muestreo de los acueductos evaluados como no potables para el 2015 por incumplimiento de parámetros físico-químicos (nitratos, aluminio y pH bajo), que no fueron muestreados durante el 2016.
- Mantener un control y vigilancia de la calidad del agua de los acueductos municipales, haciendo especial énfasis en los acueductos considerados no potables en el periodo de evaluación anterior (2015) y en el presente (2016).



## 7. REFERENCIAS

- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22° ed.). Washington, EEUU: American Public Health Association.
- Decreto Ejecutivo N° 32327-S. (3 de mayo de 2005). Reglamento para la Calidad del Agua Potable. La Uruca, San José, Costa Rica: Diario Oficial La Gaceta N°84.
- Decreto Ejecutivo N° 38924-S. (1° de septiembre de 2015). Reglamento para la Calidad del Agua Potable. La Uruca, San José, Costa Rica: Diario Oficial La Gaceta.
- Hussein, M., Brown, J., Njee, R., Clasen, T., Malebo, H., & Mbuligwe, S. (2015). Point-of-use chlorination of turbid water: results from a field study in Tanzania. *J Water Health*, 13(2), 544-552.
- Ley N°276. (27 de Agosto de 1942). Ley de Aguas. La Uruca, San José, Costa Rica: Diario Oficial La Gaceta.2327
- Mora Alvarado, D., Portuguez Barquero, F., Fonseca Calderón, Ó., Quirós, J., Pacheco Secades, V., Valiente Álvarez, C., . . . Chávez Aguilar, A. (2013). *Laboratorio Nacional de Aguas 50 Aniversario*. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
- OMS. (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality*. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza: Cuarta ed.
- OMS. (2013). *Guías para la calidad del agua potable*. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza: Tercera ed.